

# Materiales y Dispositivos Electrónicos

## MOSFET- NMOS y CMOS

### Guía Trabajo Práctico N°8

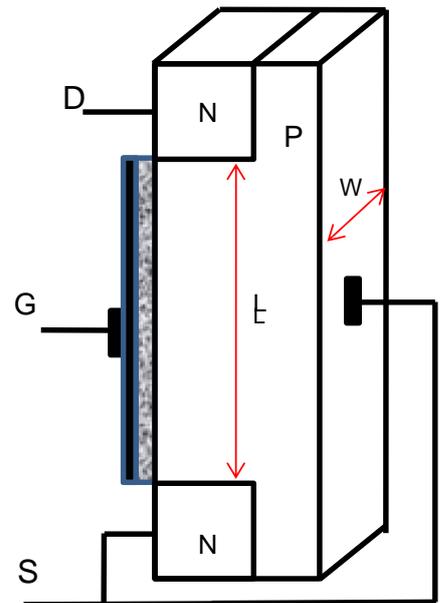
- 1 – Dibuje el corte transversal de un MOSFET de enriquecimiento canal N
  - a. Identifique las zonas y los terminales del dispositivo
  - b. Como y porque se forma el canal, explique
  - c. Que es el tiempo de tránsito, de que depende. Como influye en el funcionamiento del dispositivo.
  - d. En qué condiciones se comporta como resistor entre drenador y fuente, explique.
  - e. Escriba y demuestre la ecuación  $I_{DS} \rightarrow f(V_{GS}, V_{DS})$  en zona óhmica, bajo qué condiciones de polarización tiene validez la ecuación.
  - f. Como y porque satura la corriente  $I_{DS}$ , explique.
  - g. Cuál es la ecuación  $I_{DS} \rightarrow f(V_{GS}, V_{DS})$  en saturación, bajo qué condiciones de polarización tiene validez la ecuación.
  - h. Cuál es la diferencia entre un MOSFET de Enriquecimiento (Acrecentamiento) y un MOSFET de Deplexión (Estrangulamiento). Explique.
  - i. Dibuje el corte transversal de los MOSFET de deplexión canal P.
- 2 – En un MOSFET de enriquecimiento, que es la tensión de umbral ( $V_{TH}$ ). Explique. Cuál es la diferencia entre  $V_{TH}$  (tensión umbral) de un MOS de enriquecimiento y un MOS de deplexión.

- 3 – El MOSFET de la figura se construye con las siguientes características:

- Sustrato  $N_A = 10^{15} \text{cm}^{-3}$
- Drenador y Fuente  $N_D = 10^{17} \text{cm}^{-3}$
- Espesor del  $\text{SiO}_2 = 1 \text{ nm}$
- Largo del canal = 200 nm
- Ancho del canal = 1  $\mu\text{m}$
- Tensión umbral  $V_{TH} = 1.5 \text{ V}$

Calcular:

- a. Valor del capacitor de compuerta  $C_g$
- b. Tiempo de transito  $T_T$
- c. Valor del parámetro  $\beta$
- d. Tensión  $V_{GS}$  para obtener  $R_{DS} = 10 \text{ K}\Omega$
- e. Máximo valor de  $I_{DS}$  cuando  $V_{GS} = 5 \text{ V}$

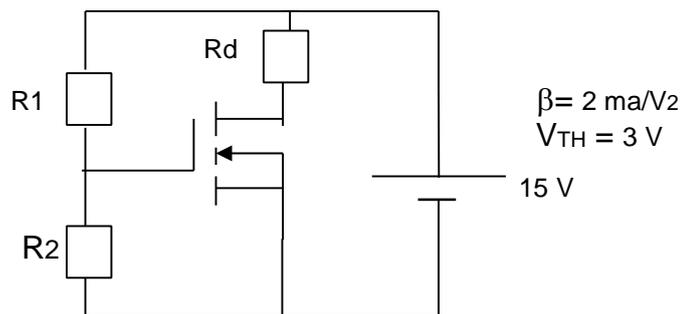


- 4 -Como mediría la tensión de umbral ( $V_{TH}$ ) para un MOS canal N. Proponga un circuito y explique el proceso de medición.
- 5 – Enumere los tipos de transistores MOS conoce. Para cada uno:
  - a. Explique las características distintivas.
  - b. Dibuje el símbolo circuital.
  - c. Indique las polaridades de  $V_{DS}$  y  $V_{GS}$  para funcionamiento normal.
  - d. Indique el sentido de circulación de la corriente  $I_{DS}$ .
- 6 – Dibuje la característica  $I_{DS}$  vs.  $V_{DS}$  -  $I_{DS}$  vs.  $V_{GS}$  y  $V_{DS}$  vs.  $V_{GS}$  para los MOSFET de canal N y P de Enriquecimiento. En las gráficas dibujadas indique las distintas zonas de funcionamiento de los dispositivos.

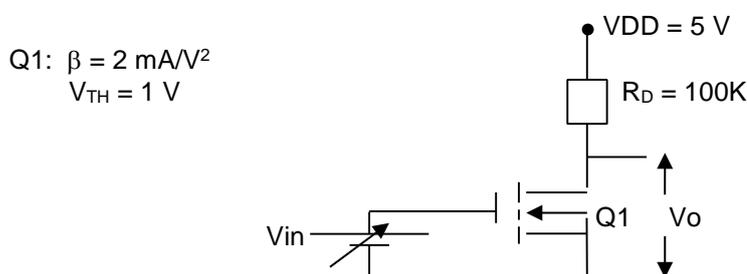
7 - Ídem anterior pero para MOSFET de Deplexión.

8 - Para el circuito de la figura:

- a) Polarizar en zona de saturación.
- b) Modificar el circuito de polarización para pasar a zona óhmica



9 - El circuito de la figura cumple la función de un inversor lógico. Para la tensión  $V_{in}$  variando desde cero ( $V_{in} = 0$ ) hasta  $V_{DD}$  calcular y graficar  $V_o$  vs.  $V_{in}$



10 - Para el circuito del problema anterior indicar el rango de  $V_{in}$  en el que Q1 se encuentra:

- a. Cortado - b. Saturado - c. Óhmico

11 - Si el dispositivo del problema 3 se fabrica sobre un sustrato N (MOSFET de canalP), con las mismas concentraciones y dimensiones: sustrato ( $N_D=10^{15} \text{ cm}^{-3}$ ), drenador y fuente ( $N_A=10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ), las dimensiones son las mismas.

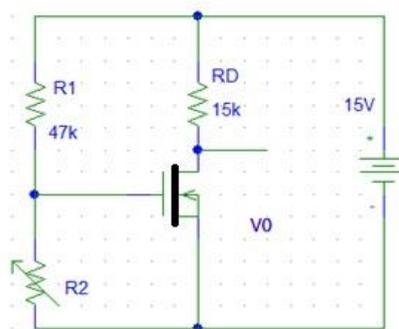
- a. Comparar los dispositivos
- b. Qué conclusiones puede sacar de la comparación

12 - En el circuito de la figura la resistencia R2 varía de 0 a  $\infty$ . Calcular entre que valores varia  $V_0$ .

Datos del transistor:

$$\beta = 1 \text{ mA/V}^2$$

$$V_{TH} = -4 \text{ V}$$



13 - Repasar las característica  $I_{DS}$  vs.  $V_{DS}$  para los MOSFET de canal N y P de enriquecimiento. Distinguir las distintas zonas de funcionamiento. Escribir las ecuaciones correspondientes.

- 14 – Polarizar un MOS de canal N de Enriquecimiento para que funcione como inversor electrónico.
- Proponer el circuito a utilizar.
  - ¿Qué datos necesita de MOS? Dispone de una fuente de 5Vcc.
  - Dibujar el modelo y escribir las ecuaciones correspondientes justificando
  - Dibujar  $I_{DS}$  vs.  $V_{DS}$  con la recta de carga. ¿En qué zona funciona?
  - Dibujar y justificar la característica  $V_o$  (tensión de salida) versus  $V_{in}$  (tensión de entrada) justificando.
- 15 - Para el problema anterior. Dibujar la tensión de salida en sincronismo con la entrada si esta es una onda cuadrada. Resaltar los tiempos de conmutación  $t_r$ ,  $t_f$  y  $T_{pLH}$  (tiempo propagación de bajo alto) y  $T_{pHL}$  (tiempo propagación de alto a bajo). ¿Quién es el causante de estos tiempos? Calcular la potencia que se disipa en condiciones estáticas y Dinámicas.
- 16 – Polarizar un MOS de canal P de Enriquecimiento para que funcione como inversor electrónico.
- Proponer el circuito a utilizar conectando el Terminal S a fuente positiva.
  - ¿Qué datos necesita de MOS? Dispone de una fuente de 5Vcc.
  - Dibujar el modelo y escribir las ecuaciones correspondientes justificando
  - Dibujar  $I_{DS}$  vs.  $V_{DS}$  con la recta de carga. ¿En qué zona funciona?
  - Dibujar y justificar la característica  $V_o$  (tensión de salida) versus  $V_{in}$  (tensión de entrada) Considerar que  $V_{in}$  se refiere al 0V de la Fuente. Justificar.
- 17- Para el problema anterior. Dibujar la tensión de salida en sincronismo con la entrada si esta es una onda cuadrada. Resaltar los tiempos de conmutación  $t_r$ ,  $t_f$  y  $T_{pLH}$  (tiempo propagación de bajo alto) y  $T_{pHL}$  (tiempo propagación de alto a bajo). ¿Quién es el causante de estos tiempos? Calcular la potencia que se disipa en condiciones estáticas y Dinámicas.
- 18 – Dibujar el inversor CMOS
- Analizar su funcionamiento considerando la característica  $I_{DS}$  vs.  $V_{DS}$  de cada MOS Distinguir las distintas zonas de funcionamiento de cada transistor justificando su respuesta.
  - Analizar su funcionamiento considerando la característica de transferencia  $V_o$  versus  $V_{in}$  Distinguir las distintas zonas de funcionamiento de cada transistor justificando su respuesta.
- 19- Para el inversor CMOS. Dibujar la tensión de salida en sincronismo con la entrada si esta es una onda cuadrada. Resaltar los tiempos de conmutación  $t_r$ ,  $t_f$  y  $T_{pLH}$  (tiempo propagación de bajo alto) y  $T_{pHL}$  (tiempo propagación de alto a bajo). ¿Quién es el causante de estos tiempos? Calcular la potencia que se disipa en condiciones estáticas y Dinámicas.

### **Referencias Bibliográficas:**

- <http://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computerscience/6-01sc-introduction-to-electrical-engineering-and-computerscience-i-spring-2011/>
- <http://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computerscience/6-002-circuits-and-electronics-spring-2007/>
- <http://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computerscience/6-012-microelectronic-devices-and-circuits-fall-2005/>
- <http://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computerscience/6-012-microelectronic-devices-and-circuits-spring-2009/>